

25

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И Я Ф 77 - 35

Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасюк, Г.И.Сильвестров

ИСПЫТАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПАР ПРИ
БОЛЬШИХ ПЛОТНОСТЯХ ИМПУЛЬСНЫХ
ТОКОВ

Новосибирск

1977

ИСПЫТАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПАР ПРИ БОЛЬШИХ ПЛОТНОСТЯХ
ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ

Виллевалд Г.С., Карасик В.Н., Сильвестров Г.И.

А Н Н О Т А Ц И Я

Описываются результаты экспериментов по исследованию работоспособности контактных пар при предельных плотностях тока (магнитное поле на их поверхности 50 – 150 кЭ) и длительностях импульсов тока, соответствующих скиновым режимам нагрева. Ширина контактных пар 100 мм, испытательный ток 10^6 А, контактное нажатие ~ 1000 кг/см² обеспечивается с помощью гидравлических прижимов. Исследовалось ~ 30 контактных пар из основных конструкционных материалов.

Вопрос выбора контактных пар возникает при конструировании электроаппаратуры с большими плотностями тока. Допустимая величина плотности тока для конкретных материалов определяет минимальные размеры токоподводов в местах их коммутации. Имеется обширная литература по теоретическому и экспериментальному исследованию силовых контактов (см. библиографию в работе [1]), но ее большая часть касается исследований контактных пар для постоянного или синусоидального тока частотой 50 Гц. В настоящей работе ставилась задача исследования плоских контактных переходов в скин-режимах, когда толщина токоведущих шин в направлении, перпендикулярном току, в несколько раз больше толщины скин-слоя. В этих случаях максимальная температура нагрева контактных элементов при синусоидальном токе практически не зависит от электросопротивления и длительности импульса тока, а является функцией максимального поля H_0 на их поверхности, плотности γ и уд. теплоемкости материала c , а именно $T^0 = H_0^2 n / \gamma c$, где n — число полупериодов незатухающего тока [2]. С другой стороны, работоспособность контактной пары зависит от соотношения величин скин-слоев, т.е. от отношения величин их уд. электросопротивлений, поскольку вблизи контактной поверхности при перетекании тока увеличивается плотность тока в контактных элементах. По этой же причине происходит значительный перегрев самой контактной поверхности по сравнению с температурой нагрева элементов, т.к. при практически нулевой толщине контакта ток не может растечься до толщины скин-слоя, соответствующего уд. сопротивлению контакта, большему, чем уд. сопротивления элементов.

Целью работы было качественное определение работоспособности контактных пар при больших плотностях тока. Исследовалось 28 контактных пар из основных конструкционных материалов: медь (М1), латунь (ЛС62), бронза (БРХО,5), технический алюминий, сталь (Ст3), дюраль (Д16Т), а так же сплав вольфрама с медью (ВМ-40). Контактные элементы представляют собой пластинки размерами 100x5 мм и толщиной ~ 2 мм. Упрощенная схема контактного узла показана на рисунке. Ток к контактным элементам 1 подводится плоскими шинами 2, подсоединенными к согласующему трансформатору. Контактное нажатие обеспечивается с помощью гидравлической камеры высокого давления 3 и силовой скобы 4. Конструкция и технология изготовления камеры, представляющей собой корпус с приваренными к ней мембраной и под-

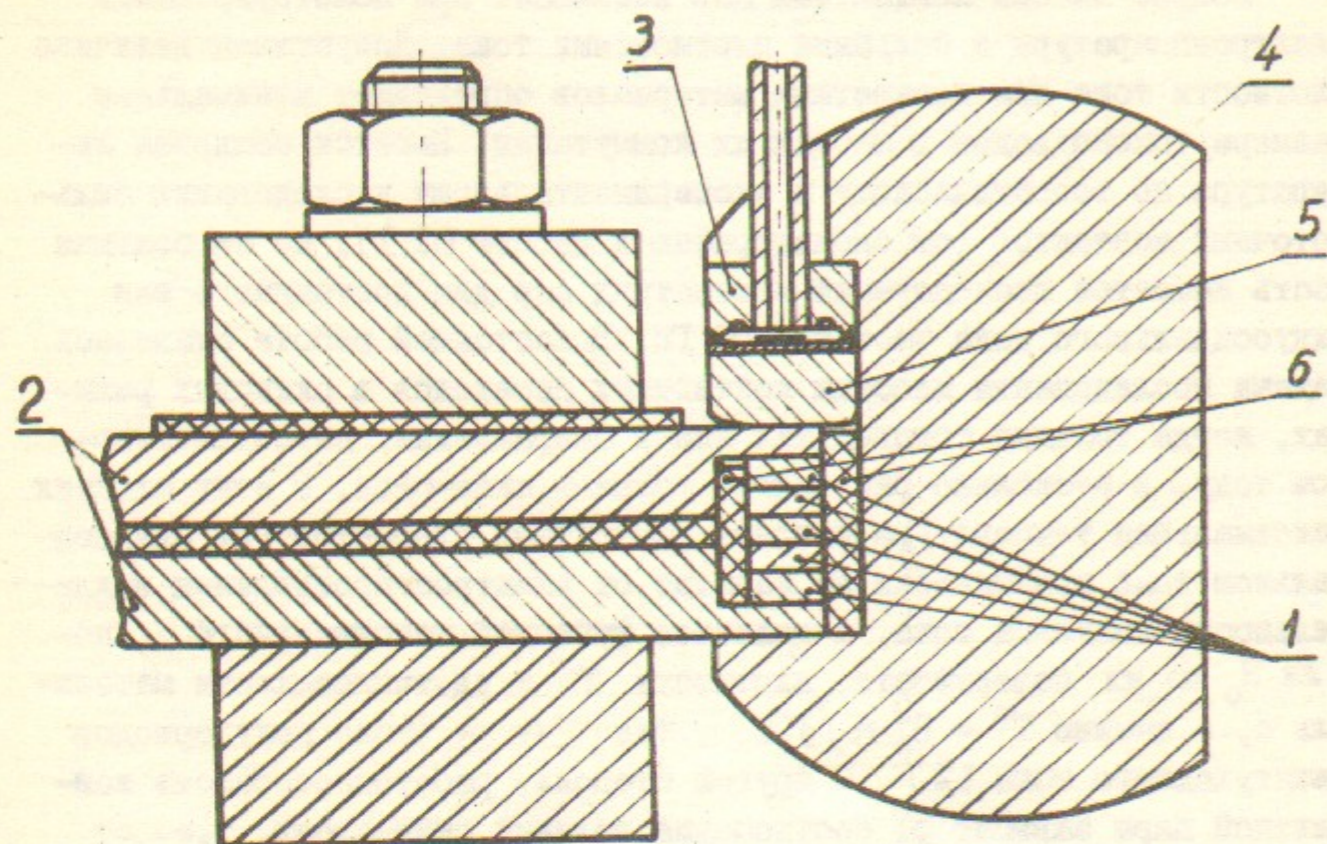


Схема испытаний контактных пар.

- 1 - контактные элементы, 2 - плоский токоподвод,
3 - гидравлическая камера, 4 - силовая скоба,
5 - подложка, 6 - изоляционные прокладки.

водящей жидкостью трубкой, подробно описана в работе [3].
Все контактные пары испытывались током $I_0 \sim 10^6$ А, т.е.
 ~ 100 кА на сантиметр ширины контактной поверхности, что соот-
ветствует магнитному полю $H_0 \sim 125$ кЭ. Длительность периода тока
 $T \sim 230$ мкс, декремент колебаний $\Delta \sim 3,5$. Контактное давление по
всей площади контакта ~ 1000 кг/см², что примерно соответствует
давлениям, создаваемым в болтовых соединениях.

Работоспособность контактных пар оценивалась визуально после 10 разрядов тока указанных параметров. Каждая пара исследова-
лась при различных направлениях тока между контактными элемен-
тами. Поскольку не было замечено существенной зависимости поведе-
ния пар от направления тока, результаты испытаний объединены в
общую таблицу, где пары распределены в порядке работоспособности,

	Контактные пары	Оценки пар, направление тока		Средняя оценка	Примечания
		←	→		
1	Си-Си	10,10		10	Си - Медь М1, Лат - ЛС 62, БРХ - БРХ 0,5, Ал - технический алюминий, ВМ - сплав ВМ-40 Ст - Ст. 3
2	Лат-Лат	10,10,10,9		9,8	
3	Си-БРХ	10,10	10,8	9,5	
4	Лат-БРХ	10,9	9,10	9,5	
5	БРХ-ВМ	9	9,9,9,9	9	
6	Си-Лат	9,9	8,9,9	8,8	
7	Ал-Лат	9	9,8	8,7	
8	Лат-Ст	6,7	10	7,7	
9	Си-Ст	7,6,9,6	8,5,8	7	
10	БРХ-Ст	9,8	6,4	6,7	
11	Ал-Ал	6,7		6,5	
12	Ал-Д16Т	6,8,7	4	6,3	
13	Ал-БРХ	5	7	6	
14	Ал-ВМ	4	6,8	6	
15	Д16Т-Д16Т	6,7,4		5,7	
16	Ст-ВМ	7	4	5,5	
17	Си-Ал	4,6,7	4,4	5	
18	Лат-Д16Т	7,4	3,4,8	5	
19	Ст-Ст	4,7,4		5	
20	Д16Т-БРХ	6,3	5,5,5	4,8	
21	Си-ВМ	6,6	4,3	4,7	
22	Лат-ВМ	2,5	6,3,6	4,4	
23	Д16Т-ВМ	5,3,6	6,2,3	4,2	
24	Си-Д16Т	4,3	5	4	
25	Ал-Ст	5,4,5	4,4,3,3	4	
26	Д16Т-Ст	4,4	4	4	
27	БРХ-БРХ	1,2		1,5	
28	ВМ-ВМ	1,2		1,5	

оцененной по десятибалльной системе. Оценка 1 означает сваривание пар практически по всей площади касания, 2 — пара сварилась примерно на толщину скин-слоя, 3 — контрастный след вдоль контактных поверхностей со стороны скин-слоя, местами пара сварилась, 4 — то же, но пара без затруднений разъединяется, 5 — сплошной, хорошо видный след шириной порядка минимального скин-слоя пары, 6 — сплошной четкий след в виде линии, 7 — заметный сплошной след в виде линии, 8 — прерывистый слабый след, 9 — редкие точки на контактных поверхностях, 10 — никаких изменений. Из таблицы видно, что более сильное влияние на работоспособность пар оказывает температура нагрева элементов (зависимость от произведения δC), т.е. лучшими являются пары из конструкционных материалов на основе меди, а так же Ст3, для которых в описанных режимах температуры нагрева поверхности равны $55 \div 60^\circ$, в то время как нагрев алюминия и сплава Д16Т $\sim 80^\circ$. В случаях примерно равных температур заметно ухудшение свойств при значительных отношениях толщин их скин-слоев. Повидимому, поэтому пары распределялись в порядке: Ст3 — латунь, Ст3 — БРХ, Ст3 — медь, для которых отношения скин-слоев равны 1,3, 2,1 и 2,3 соответственно. Некоторое влияние на работоспособность пар оказывает большое различие в удлинениях элементов при прохождении тока (оно максимально у пар алюминий — Ст3 и Д16Т — Ст3). Сравнительно низкая оценка твердых пар (Ст3 — Ст3 и ВМ — ВМ) объясняется, повидимому, недостаточным для них контактным нажатием.

Полученные результаты ориентировочно можно использовать и при проектировании аппаратуры на меньшие плотности токов, но в процессе работы которых возможно увеличение контактных сопротивлений (ослабление контактного нажатия, окисление элементов и т.д.), что может привести к локальному повышению плотности тока до предельных величин, а следовательно к рассмотренным выше результатам. С другой стороны, результаты дают возможность искусственно повысить работоспособность контактных пар, например: при необходимости коммутации пар из алюминиевых сплавов и стали целесообразно воспользоваться латушной прокладкой между ними и т.п.

Представленные экспериментальные результаты нельзя считать статистически достоверными из-за небольшого числа измерений на каждой паре (от двух до семи), поэтому действительный ряд оценок

может быть несколько иным (к примеру, положение в таблице пары БРХ-БРХ). Другой недостаток результатов — по таблице невозможно определить предельных плотностей тока для всех пар, тем более при различных требованиях к ресурсу их работы. Экспериментальные результаты при большом числе разрядов имеются лишь для некоторых пар. Пары БРХ — медь и медь — медь отработали без заметных изменений ~ 200000 однополупериодных синусоидальных импульсов длительностью ~ 700 мкс при амплитуде поля на их поверхности ~ 50 кЭ [3] (контактное нажатие ~ 1000 кг/см² обеспечивалось с помощью кольцевых гидравлических контактных прижимов). При том же поле успешно отработали более 200 000 импульсов длительностью 120 мкс пары Лат. — Лат. и Лат. — Д16Т (болтовое соединение шин [2]). На меди в контакте с латушью при поле ~ 150 кЭ после одного импульса тока длительностью ~ 10 мкс [4] можно заметить легкий след латуни со стороны максимальной плотности тока, т.е. такие поля являются предельными в контактных соединениях.

В заключение авторы выражают признательность А.К.Ленькову за помощь в проведении серии экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.Н.Новиков. Теория и расчет электрических аппаратов. "Энергия", Ленинградское отд., 1970.
2. Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасик, Г.И.Сильвестров. Исследование механических характеристик сильнооточных параболических линз в режимах динамического нагружения. Препринт Института ядерной физики СО АН СССР, ИЯФ 75-98, 1975, Новосибирск.
3. Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасик, Г.И.Сильвестров. Использование гидравлики для создания контактов на мегаамперные токи. Препринт Института ядерной физики СО АН СССР, ИЯФ 77- 16 , 1977, Новосибирск.
4. Г.И.Будкер, Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасик, Г.И.Сильвестров. Параболические линзы взрывного действия с полями 0,3 - 1Мэ. Препринт Института ядерной физики СО АН СССР, ИЯФ 76-58, 1976, Новосибирск.

Работа поступила - 8 марта 1977 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ

Подписано к печати 14.2У-1977 г. МН 02718

Усл. 0,5 печ.л.; 0,4 учетно-изд.л.

Тираж 170 экз. Бесплатно

Заказ №35.

Отпечатано на ротапринте ИЯФ СО АН СССР